

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian ini akan meneliti tentang pengaruh variasi pendingin terhadap uji kekerasan dan mikrostruktur pada baja ST 60. Pada waktu pendinginan dibuat bervariasi menggunakan (air, oli, udara, air garam), dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pendinginan terhadap kekerasan baja ST 60. Pada tinjauan pustaka ini akan menjelaskan tentang baja karbon dengan pembagian tingkatan kekerasannya, dan juga akan menjelaskan tentang pengertian dari proses penelitian yang saya lakukan seperti : *Heat treatment*, *Quenching*, media pendingin dan juga tentang pengertian pengujian yang saya lakukan (kekerasan dan *mikrostruktur*).

#### 2.1 Baja Karbon

Baja merupakan salah satu jenis logam ferro dengan unsur *carbon* (C) *sulfur* (S), *fosfor* (P), *silikon* (Si), *mangan* (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk *karbid* yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. (Edih Supardi, 1999) Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

##### 2.1.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur *martensit* (Amanto, 1999).

### 2.1.2 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3%C – 0,6%C dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah (Amanto, 1999).

### 2.1.3 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya *martensit* sehingga membuat baja menjadi getas. Sifat mekanis baja juga dipengaruhi oleh cara mengadakan ikatan karbon dengan besi. Menurut Schonmetz (1985) terdapat 2 bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu :

- *Ferrit*, yaitu besi murni (Fe) terletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya.

- *Perlit*, merupakan campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlit mempunyai kristal ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis.

## 2.2 Baja ST 60

Baja ST 60 merupakan golongan baja karbon sedang yang memiliki kandungan karbon 0,4644%. Hal ini dibuktikan dengan pengujian komposisi yang dilakukan oleh PT Itoko Ceperindo Klaten yang dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Komposisi Baja ST60

C	Si	Mn	S	P	Cu
0,4644%	0,2401	0,6973%	0,0117	0,0204	0,0195

sumber: Hasil Uji di PT Itokoh Ceperindo Klaten

Dengan kadar karbon sedang yang dimiliki Baja ST60 menjadikan baja ini memiliki sifat-sifat pengerjaan dan kekuatan yang sangat baik. Apabila baja ini diberi perlakuan yang tepat maka akan didapatkan kekerasan dan keuletan sesuai dengan yang diinginkan.

## 2.3 Heat treatment

*Heat Treatment* merupakan proses pengubahan sifat logam, terutama baja, melalui pengubahan struktur mikro dengan cara pemanasan dan pengaturan laju pendinginan. *Heat treatment* merupakan mekanisme penguatan logam dimana logam yang akan kita ubah sifatnya sudah berada dalam kondisi *solid*. Dalam *heat treatment* kita memanaskan specimen sampai dengan temperature *austenisasinya* (Djafrie, 1995).

### 2.3.1 Anealing

Proses *annealing* adalah proses pemanasan baja di atas temperature kritis ( 723 °C ) selanjutnya dibiarkan beberapa lama sampai temperature merata disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar temperature bagian luar dan dalam kira-kira sama hingga diperoleh struktur yang diinginkan dengan menggunakan media pendingin udara (Amanto, 1999).

### 2.3.2 Normalizing

*Normalizing* adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fase *austenit* yang kemudian diinginkan secara perlahan-lahan dalam media pendingin udara. Hasil pendingin ini berupa *b* dan *ferrit* namun hasilnya jauh lebih mulus dari *annealing*. Prinsip dari proses *normalizing* adalah untuk melunakkan logam. Namun pada baja karbon tinggi atau baja paduan tertentu dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak. Mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung dari kadar karbon (Amanto, 1999).

### 2.3.3 Tempering

*Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan (Koswara, 1999:134). Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses *annealing* karena di sini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat (Amstead, 1997 : 148). Pada suhu 200°C sampai 300°C laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C *difusi* berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang *berdifusi* di antara atom besi dapat membentuk *sementit*. Perubahan sifat mekanis akibat temper *martensit* baja karbon 0,452 %C. Prosesnya adalah memanaskan kembali berkisar antara suhu 150°C – 650°C dan didinginkan secara perlahan-lahan tergantung sifat akhir baja tersebut, Menurut Schonmetz (1985) tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut :

- *Tempering* pada suhu rendah (150 - 300) C

*Tempering* ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

- *Tempering* pada suhu menengah (300 – 550) C

*Tempering* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas.

- *Tempering* pada suhu tinggi (550 – 650) C

*Tempering* suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 600C. pada proses *tempering* dengan tujuan untuk mendapatkan keuletan spesimen yang maksimal.

### 2.3.5 *Carburizing*

*Carburizing* atau dapat disebut karburisasi adalah cara pengerasan permukaan dengan memanaskan logam (baja) di atas suhu kritis dalam lingkungan yang mengandung karbon. Baja pada suhu sekitar suhu kritis mempunyai afinitas terhadap karbon. Karbon diabsorpsi ke dalam logam membentuk larutan padat karbon-besi dan pada lapisan luar memiliki kadar karbon yang tinggi. Bila cukup waktu, atom karbon akan mempunyai kesempatan untuk berdifusi ke bagian-bagian sebelah dalam. Tebal lapisan tergantung dari waktu dan suhu yang digunakan. Berdasarkan media yang memberikan karbon, menurut **Doan, G.E.(1952)** secara umum ada tiga macam metode dalam proses *carburizing* yaitu:

- karburisasi padat (*solid carburizing*) adalah adalah suatu cara karburisasi yang menggunakan bahan karbon berbentuk padat.
- karburisasi cair (*liquid carburizing*), adalah suatu cara karburisasi dengan menggunakan bahan karbon berbentuk cair.
- karburisasi gas (*gas carburizing*) adalah suatu cara karburisasi dengan menggunakan bahan karbon berbentuk gas.

### 2.3.6 Holding time

*Holding time* dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan temperature pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida kedalam austenit dan diffusi karbon dan unsur paduannya (Koswara,1999:134).

Menurut (Djafrie, 1985) Pedoman untuk melakukan holding time dari berbagai jenis baja :

- Baja kontruksidari baja karbon dan baja paduan rendah

Yang mengandung *karbida* yang mudah larut, diperlukan *holding time* yang singkat, 5 – 15 menit setelah mencapai *temperature* pemanasannya dianggap sudah memadai.

- 2.3.Baja kontruksi dari baja paduan menengah

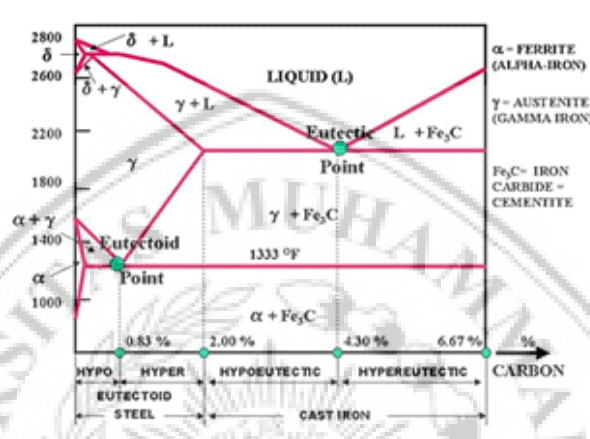
Dianjurkan menggunakan *holding time* 15 – 25 menit setelah mencapai *temperature* pemanasannya yang dianggap sudah memadai, tiddak tergantung pada ukuran benda kerja.

- Baja kontruksi dari baja paduan tinggi

Dianjurkan menggunakan *holding time* 25 – 35 menit setelah mencapai *temperature* pemanasannya yang dianggap sudah memadai, tidak tergantung pada ukuran benda kerja.

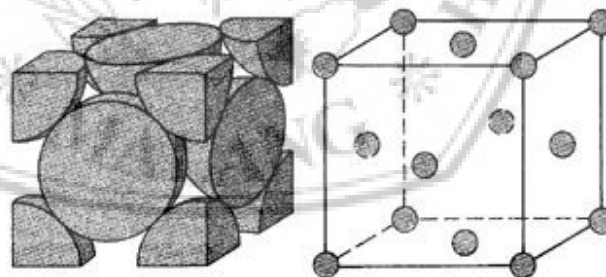
## 2.4 Quenching

Menurut Edih Supardi (1999) dasar pengujian pengerasan pada bahan baja yaitu suatu proses pemanasan dan pendinginan untuk mendapatkan struktur keras yang disebut *martensit*. Martensit yaitu fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau mempunyai bentuk kristal *Body Centered Tetragonal* (BCT), dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1. Diagram besi karbon

Sumber <https://gregoriusagung.wordpress.com>



Gambar 2.2 Struktur *Body Center Cubic*

sumber <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/5465944/file/5465951.pdf>

Gambar 2.2 menjelaskan tentang body center cubic dimana Makin tinggi derajat kelewatan jenuh karbon, maka makin besar perbandingan satuan sumbu sel satuannya, *martensit* makin keras tetapi getas. *Martensit* adalah fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam

keadaan padat. Pemanasan dilakukan bertahap (*preheating*) untuk memperkecil *deformasi*. Setelah temperatur pengerasan tercapai, ditahan dalam selang waktu tertentu kemudian didinginkan dengan cepat.

Baja panas dengan cara pendinginan lambat mempunyai struktur *perlit* dengan *ferit* bebas atau *sementit* bebas, hal ini tergantung pada kandungan karbon (Doan, G.E., 1952). Tahap pendinginan lambat pada baja mengakibatkan suatu keadaan yang relatif lunak atau plastis. Untuk menambah kekerasan baja, dapat dilakukan dengan pemanasan baja sampai suhu 8300C kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*). Tujuan pengerjaan ini adalah mendinginkan atau melindungi suatu perubahan *austenitic* dari pada pendinginan lain sampai temperatur mendekati 790C. Jika berhasil mendinginkan *austenitic* sampai 790C akan berubah dengan cepat ke suatu struktur yang keras dan relatif rapuh yang dikenal *martensit* untuk itu pengerjaan kedua dalam pengerasan baja yaitu pendinginan cepat (*quenching*) dari *austenitic* yang menghasilkan struktur *martensit*. Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui *temper*, kekerasan, dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat (Djafrie, 1985). Pada saat *tempering* proses *difusi* dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari *martensit* berarti keuletan (*ductility*) dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik, dan kekerasan menurun. Senada dengan itu Djafrie (1986) menyatakan sifat-sifat mekanik baja yang telah dicelup, dan di-*temper* dapat diubah dengan cara mengubah temperatur *tempering*.

## 2.5 Media Pendingin

Media pendingin yang lazim digunakan untuk mendinginkan spesimen pada proses pengerasan baja yang akan digunakan yaitu (air, oli, udara, air garam) dengan alasan media pendingin tersebut digunakan untuk memperoleh hasil yang diharapkan. Penggunaan (air, oli, udara, air garam), sebagai media pendingin akan menyebabkan timbulnya selaput karbon pada spesimen tergantung dari besarnya



variasi pendinginnya. Atas dasar tujuan untuk memperbaiki sifat baja tersebut, maka peneliti memilih perlakuan panas dengan *quenching* media pendinginnya (air, oli, udara, air garam). Menurut **Soejdono. 1978** Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain :

- Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Air yang digunakan yaitu air murni/jernih yaitu aquadesk.

- Air Garam

Pendinginan dengan menggunakan air garam apabila baja dicelupkan dalam medium pendinginan larutan air garam akan terjadi pendinginan yang cepat karena apabila airnya telah mengap akan terjadi selubung uap air tetapi ada bintik – bintik ion.

- Udara

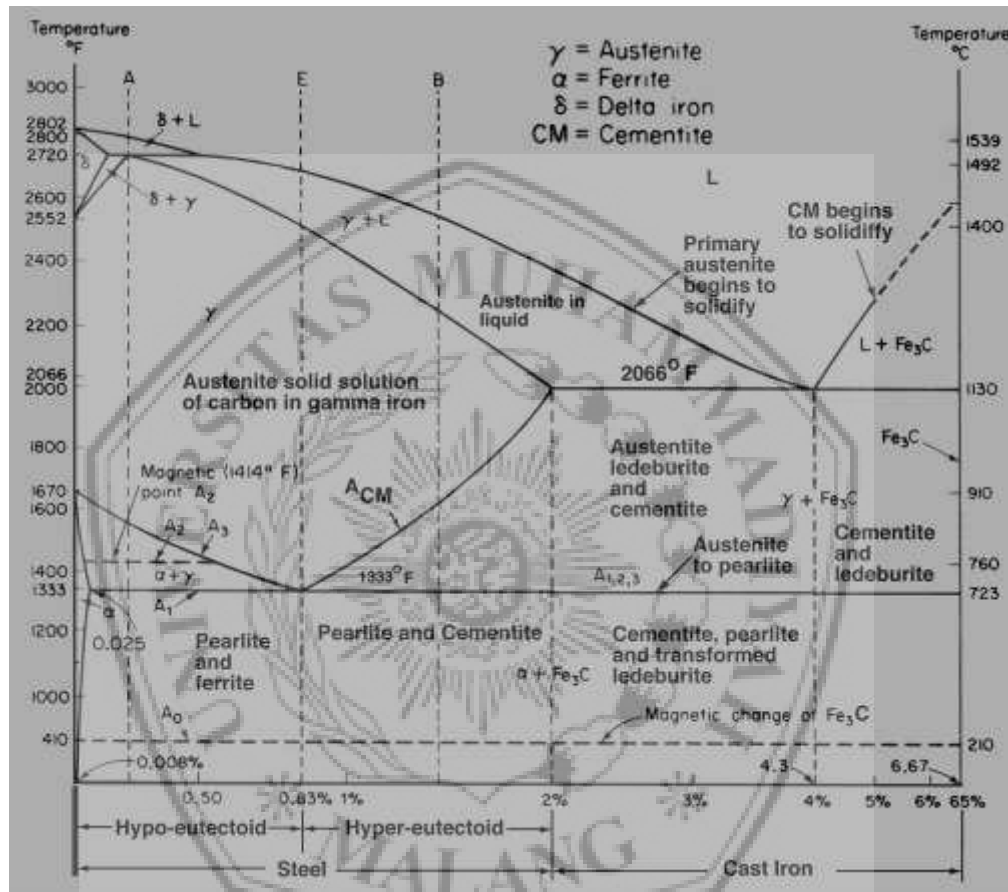
Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal – kristal dan kemungkinan mengikat unsur – unsur lain dari udara

- Pelumas / oli

Pelumas adalah minyak yang mempunyai sifat untuk selalu melekat dan menyebar pada permukaan-permukaan yang bergeser, sehingga membuat pengausan dan kenaikan suhu kecil sekali (Soedjono, 1978).viskositas Oli, dan bahan dasar Oli membawa pengaruh dalam mendinginkan sepesimen.

## 2.6 Diagram transformasi untuk pendinginan

Diagram IT (Isothermal Transformation) atau TTT (Time Temperature Transformation) dilakukan dengan memanaskan baja karbon sehingga mencapai temperatur austenisasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan pada daerah fasa *austenit* kemudian menahannya untuk waktu tertentu dan mendinginkan lagi dengan laju pendinginan, dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.3 Diagram TTT untuk baja hypoeutectoid

(Smallman dan Bishop, 2000)

Pada gambar menunjukkan diagram TTT untuk jenis baja hypoeutectoid, dimana garis ordinat menunjukkan temperatur sedangkan garis absis menunjukkan waktu. Melalui diagram TTT ini, dapat diketahui kapan transformasi austenite dimulai serta waktu yang dibutuhkan untuk membentuk austenite sempurna. Untuk mencapai martensit, kecepatan turunnya suhu dapat relatif dipercepat dengan menggunakan media pendingin, misalnya air, air garam, dll. Seiring dengan turunnya suhu, pembentukan mendekati seratus persen martensit. Terbentuknya

struktur mikro bainit dengan kecepatan suhu yang relatif lambat yaitu dengan menggunakan media pendingin udara. Pendinginan udara diberikan secara alami, sehingga lamanya untuk pendinginan membutuhkan waktu yang lama.

## 2.7 Pengujian Kekerasan

Proses pengujian kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap, artinya ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji dan karena pengaruh pembebanan benda uji akan mengalami *deformasi*. Pengujian kekerasan logam ini secara garis besar ada tiga metode yaitu penekanan, goresan, dan dinamik ( Koswara, 1991 : 15 ). Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu dengan metode penekanan. Menurut *Schonmentz, Gruber, (1985)* ada tiga jenis metode penekanan, yaitu : *Rockwell, Brinnel, Vickers*, yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pengujian kekerasan dengan goresan dibakukan pada skala *Mohs*, ada sepuluh skala yang disusun berurutan dari bahan lunak sampai bahan yang keras. Pengujian kekerasan dengan *dinamik* adalah pengukuran terhadap ketinggian pantulan sebuah palu dari permukaan benda uji pada mesin uji *Shore Scleroscope*. Pengujian kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode *Vickers*. Menurut *Poerwadarminta, (1994)* Uji kekerasan *vickers* menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat . Ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu micro (10g – 1000g) dan macro (1kg – 100kg). pengujian *Vickers* mempunyai beberapa kelebihan sebagai berikut:

- Skala kekerasan yang continue untuk rentang yang luas, dari yang sangat lunak dengan nilai 5 maupun yang sangat keras dengan nilai 1500 karena indenter intan yang sangat keras.
- dianjurkan untuk pengujian material yang sudah di proses *case hardening*, dan proses pelapisan dengan logam lain yang lebih keras.
- Dapat dilakukan pada benda pada ketipisan 0,006 inchi.

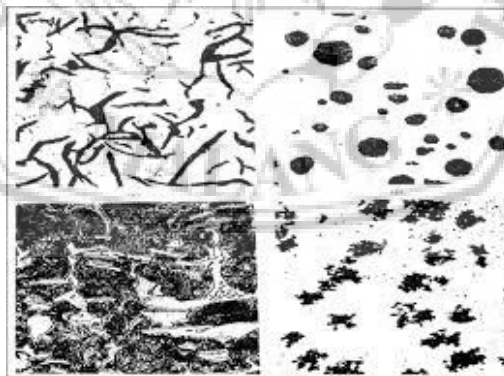
## 2.8 Pengujian Mikrostruktur

*Mikrostruktur* adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik *metalografi*. *Mikrostruktur* suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksi dengan *reagen* kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching* (Djafri, Sriati, 1983).

Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat melihat struktur mikronya dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu Amanto, Hari, (1999). Dan dari struktur mikro kita dapat melihat :

- a. Ukuran dan bentuk butir.
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam.
- c. Pengotor yang terdapat dalam material.

Dari struktur mikro kita juga dapat memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan, dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.4 Hasil pengamatan pengujian mikrostruktur

Sumber <http://ferriawan-yudhanto.blogspot.co.id/2010/04/heat-treatment-pada-baja.html>

## 2.9 Statistik pengujian

Dikenal juga sebagai *Diamond Pyramid Hardness test* (DPH). Uji kekerasan *vickers* menggunakan indentor piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat . Ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu *micro* (10g – 1000g) dan *macro* (1kg – 100kg) **Poerwadarminta, (1994).**

Menurut **Bradbury.EJ, 1990** angka kekerasan *vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injekan) dari indikator (diagonalnya) (A) yang di kalikan dengan sin (136/2).

Rumus Pengujian *Vickers*:

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \text{ atau } \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2}$$

Persamaan 2.1 rumus menghitung *vickers*

Dimana VHN = *vickers hardness number*

P = Beban yang di berikan

D = Panjang diagonal rata-rata

Kareana jejak yang dibuat dengan penekanan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukuranya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji *vickers* berkisar antara 1 hingga 120 kg. Tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Hal hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode *vickers* adalah :

- Uji ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian ini sangat lambat.
- Memerlukan persiapan permukaan benda uji.
- Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagon.

### Kelebihan pengujian *Vickers*

- Skala kekerasan yang kontinue untuk rentang yang luas, dari yang sangat lunak dengan nilai 5 maupun yang sangat keras dengan nilai 1500 karena *indentor* intan yang sangat keras.
- dianjurkan untuk pengujian material yang sudah di proses *case hardening*, dan proses pelapisan dengan logam lain yang lebih keras.
- Dapat dilakukan pada benda benda pada ketipisan 0,006 inchi.

